

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-249492

(43)Date of publication of application : 22.09.1997

(51)Int.Cl.

C30B 15/36
C30B 15/04
C30B 29/06
// H01L 21/208

(21)Application number : 08-055647

(71)Applicant : SUMITOMO SITIX CORP

(22)Date of filing : 13.03.1996

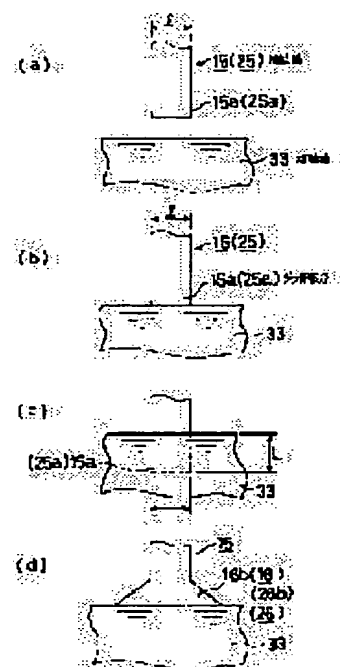
(72)Inventor : IZUMI TERUO

(54) SEED CRYSTAL FOR PULLING UP SINGLE CRYSTAL AND PULLING-UP OF SINGLE CRYSTAL USING THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a heavyweight single crystal by using a silicon seed crystal with a controlled concentration of phosphorus (P) or boron (B) as a dopant to effectively exclude introduction of dislocations in the beginning of single crystal formation and also exclude neck formation so as to prevent the single crystal being pulled up from falling.

SOLUTION: This seed crystal for pulling up a single crystal consists of silicon with a concentration of P at 1×10^{19} to $10^{21}/\text{cm}^3$ or B at 5×10^{19} to $10^{20}/\text{cm}^3$ as a dopant. The diameter (l) of the seed crystal 15 being pulled up is set at $\geq 6\text{mm}$; after preheating its tip 15a, the seed crystal is dipped into a silicon melt 33, melted, and a shoulder 16b is formed without necking; subsequently, the main body is formed, and the resultant single crystal is pulled up. In the above process, the length L of the tip 15a to be dipped into the melt 33 and to be melted is at least the diameter (l) of the seed crystal 15.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

04.08.1997

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3050120

[Date of registration]

31.03.2000

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-249492

(43) 公開日 平成9年(1997)9月22日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
C 3 0 B 15/36			C 3 0 B 15/36	
15/04			15/04	
29/06	5 0 2		29/06	5 0 2 F
// H 0 1 L 21/208			H 0 1 L 21/208	P

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平8-55647

(22) 出願日 平成8年(1996)3月13日

(71) 出願人 000205351

住友シチックス株式会社
兵庫県尼崎市東浜町1番地

(72) 発明者 和泉 輝郎

大阪府大阪市中央区北浜4丁目5番33号
住友金属工業株式会社内

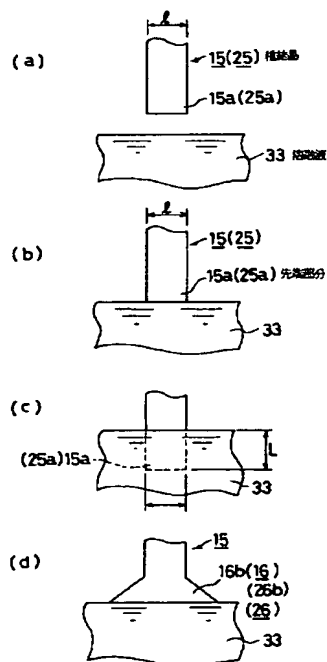
(74) 代理人 弁理士 井内 龍二

(54) 【発明の名称】 単結晶引き上げ用種結晶及び該種結晶を用いた単結晶引き上げ方法

(57) 【要約】

【課題】 単結晶16が大重量化した場合に、ネック径が従来の細さであると強度が十分でないため単結晶16が落下してしまう。一方、強度が十分となるようネック径を太くすると、種結晶15の熔融液33への着液時に生じた転位を十分に排除することができない。

【解決手段】 ドーパントとしてリン(P)が用いられ、ドーパント濃度が $1 \times 10^{19} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ の範囲である、種結晶15を用いる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 ドーパントとしてリン(P)が用いられ、ドーパント濃度が $1 \times 10^{19} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ の範囲にあることを特徴とする、単結晶引き上げ用種結晶。

【請求項2】 ドーパントとしてホウ素(B)が用いられ、ドーパント濃度が $5 \times 10^{19} \sim 6 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ の範囲にあることを特徴とする、単結晶引き上げ用種結晶。

【請求項3】 種結晶径が6mm以上あることを特徴とする、請求項1又は請求項2記載の単結晶引き上げ用種結晶。

【請求項4】 請求項1～3のいずれかの項に記載の種結晶を用い、該種結晶の先端部を熔融液に浸漬して溶かし込んだ後、ネックを形成せずに単結晶を引き上げること

を特徴とする、単結晶引き上げ方法。

【請求項5】 溶かし込む種結晶長さを種結晶径以上とすることを特徴とする、請求項4記載の単結晶引き上げ方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は単結晶引き上げ用種結晶及び該種結晶を用いた単結晶引き上げ方法に関し、より詳細には半導体材料として使用されるシリコン単結晶を育成する際に用いられる、単結晶引き上げ用種結晶及び該種結晶を用いた単結晶引き上げ方法に関する。

【0002】

【従来の技術】単結晶を育成するには種々の方法があるが、その一つにチョクラスキー法(以下、CZ法と記す)に代表される引き上げ法がある。図5は従来のCZ法に用いられる単結晶引き上げ装置の要部を模式的に示した断面図であり、図中31は坩堝を示している。

【0003】この坩堝31は、有底円筒形状の石英製坩堝31aと、この石英製坩堝31aの外側に嵌合された、同じく有底円筒形状の黒鉛製坩堝31bとから構成されており、坩堝31は図中の矢印方向に所定の速度で回転する支持軸39に支持されている。この坩堝31の外側には抵抗加熱式のヒータ32、及びヒータ32の外側には、坩堝31への熱移動を促進する保温筒42が同心円状に配置されており、坩堝31内には、このヒータ32により溶融させられた単結晶用原料の熔融液33が充填されるようになっている。

【0004】坩堝31の中心軸上には、引き上げ棒あるいはワイヤー等からなる引き上げ軸34が吊設されており、この引き上げ軸34の先には、シードチャック34aを介して種結晶35が取り付けられている。

【0005】上記した単結晶引き上げ装置により単結晶36を引き上げるには、まず種結晶35を熔融液33に着液させて種結晶35を熔融液33に馴染ませた後、引き上げを開始する(以下、シーディング工程と記す)。

その後、所定の引き上げ速度で所定径になるまで種結晶35を細く絞り、単結晶36のネック36aを形成する(以下、ネッキング工程と記す)。その後引き上げ速度を落して単結晶36を所定の径まで成長させ、単結晶36のショルダー36bを形成する(以下、ショルダー形成工程と記す)。その後、一定の引き上げ速度で一定の径、所定長さの単結晶36を育成し、単結晶36のメインボディ(定径部)36cを形成する(以下、ボディ形成工程と記す)。

【0006】上記ネッキング工程を行う目的について、以下に説明する。前記シーディング工程を行うにあたって、通常、種結晶底部35aをある程度予熱した後に、熔融液33に着液させるが、前記予熱温度(約1300℃程度以下)と種結晶35の融点(約1410℃)との間には、100℃以上の差が生じる。このため、熔融液33への着液時に種結晶底部35aには、熱応力による転位が導入される。該転位は、後の単結晶化を阻害するものであるため、前記転位を排除してから単結晶36を成長させる必要がある。一般に前記転位は、単結晶36の成長界面に対して垂直方向に成長するものであることから、上記ネッキング工程において前記成長界面の形状を下に凸形状とし、前記転位を排除する。

【0007】一般に前記ネッキング工程においては、ネック36a径を細く絞るほど前記成長界面の形状をより下に凸とすることができ、前記転位を効率良く排除することができる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】上記した従来の単結晶引き上げ方法においては、直径約6インチ、重量が80kg程度の単結晶36を引き上げるために、直径12mm程度の種結晶35を用いるのが一般的であった。その際のネック36a径は、単結晶36を安全に引き上げることができ、しかも上記転位を効率的に排除することができる大きさとして通常2～3mm程度とされていた。しかしながら、近年の半導体デバイスの高集積化、低コスト化及び高生産性の要求に対応して、ウエハの大口径化が要求されてきており、最近では例えば直径約12インチ、重量が300kg程度の単結晶36の製造が望まれている。この場合、従来のネック36a径(通常3mm程度)では、ネック35aが引き上げられる単結晶36の重さに耐えられずに破損し、単結晶36が落下してしまう。

【0009】上記した大重量の単結晶36を育成するにあたり、単結晶36の落下等の事故の発生を防ぎ、安全に引き上げを行うためには、シリコン強度(約16kgf/mm²)から算出してネック36a径を6mm程度まで太くする必要がある。しかしながら、ネック36a径のこの程度の絞りでは、種結晶35の熔融液33への着液時に導入された転位を十分に排除することができず、無転位結晶が製造出来ない場合が発生し、歩留まり

が著しく低下するといった課題があった。

【0010】本発明は上記課題に鑑みなされたものであり、大重量の単結晶を引き上げる場合であっても、転位を効率的に排除することができる単結晶引き上げ用種結晶、またネッキング工程を不要とし、大重量の単結晶であっても、安全に低コストで歩留まりよく引き上げることができる、前記種結晶を用いた単結晶引き上げ方法を提供することを目的としている。

【0011】

【課題を解決するための手段及びその効果】上記目的を達成するために、本発明に係る単結晶引き上げ用種結晶(1)は、ドーパントとしてリン(P)が用いられ、ドーパント濃度が $1 \times 10^{19} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ の範囲にあることを特徴としている。

【0012】上記単結晶引き上げ用種結晶(1)によれば、Pのドーパント濃度が $1 \times 10^{19} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ の範囲にあり、一般的なPのドーパント濃度($1 \times 10^{15} / \text{cm}^3$)よりも高く、前記着液時に導入された転位が種結晶の上部方向に伝播するのに要する応力レベルを、通常よりも高くすることができる。すなわち、通常よりも高い応力が働かない限り前記転位は伝播しないため、前記着液時に、転位が導入された部分を適度な速度で溶解液に溶かし込めば、転位を伝播させることなく転位が導入された部分を除去することができ、転位のない種結晶を基にした単結晶の引き上げが可能となる。このため引き上げた単結晶の無転位化率を高めることができる。

【0013】また、本発明に係る単結晶引き上げ用種結晶(2)は、ドーパントとしてホウ素(B)が用いられ、ドーパント濃度が $5 \times 10^{19} \sim 6 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ の範囲にあることを特徴としている。

【0014】上記単結晶引き上げ用種結晶(2)によれば、Bのドーパント濃度が $5 \times 10^{19} \sim 6 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ の範囲にあり、一般的なBドーパント濃度($1 \times 10^{15} / \text{cm}^3$)よりも高いため、前記着液時に生じた転位が種結晶の上部方向に伝播するのに要する応力レベルを、通常よりも高くすることができる。よって、上記した単結晶引き上げ用種結晶(1)の場合と同様の効果が得られる。

【0015】また、本発明に係る単結晶引き上げ用種結晶(3)は、上記単結晶引き上げ用種結晶(1)又は(2)において、種結晶径が6mm以上あることを特徴としている。

【0016】上記単結晶引き上げ用種結晶(3)によれば、上記単結晶引き上げ用種結晶(1)又は(2)の場合と同様の効果が得られると共に、前記種結晶径が6mm以上あるため、例えば300kg以上の大重量の単結晶を引き上げる場合であっても、前記種結晶がシリコン強度(約 16 kgf/mm^2)から算出して十分な強度を有するため、種結晶の破損による単結晶の落下等の事

故の心配がなく、安全に単結晶を引き上げることができる。

【0017】また、本発明に係る単結晶引き上げ方法(1)は、上記種結晶(1)～(3)のいずれかを用い、該種結晶の先端部を溶解液に浸漬して溶かし込んだ後、ネックを形成せずに単結晶を引き上げることを特徴としている。

【0018】上記単結晶引き上げ方法(1)によれば、着液時に導入された転位を有する前記種結晶の先端部を一旦溶解させるため、転位のない種結晶を基に前記単結晶の引き上げを行うことができる。これにより、引き上げられる単結晶に前記転位が伝播することがほとんどないため、ネッキング工程を省略しても無転位の単結晶を効率的に引き上げることができる。また、前記ネッキング工程を省略できることから、細いネックによって単結晶を支持する必要性がなくなり、種結晶径がすなわち単結晶を支持するための最細部径となり、前記種結晶の強度さえ十分みておけば、大重量の単結晶であっても、落下等の事故発生の心配もなく安全に引き上げることができる。さらに、前記ネックを形成する必要がないため、種結晶は従来12mm程度であったものを6mm程度まで細くでき、種結晶に要する原料コストを削減することができるとともに、引き上げ工程を簡略化することができる。

【0019】また、上記種結晶(1)～(3)のいずれか、すなわち転位の導入されていない種結晶を用いるため、引き上げられる単結晶に転位が導入されにくく、単結晶における無転位率も向上させることができる。従って、引き上げた単結晶の歩留まりを向上させることができる。

【0020】また、本発明に係る単結晶引き上げ方法(2)は、上記単結晶の引き上げ方法(4)において、溶かし込む種結晶長さを種結晶径以上とすることを特徴としている。

【0021】上記単結晶の引き上げ方法(2)によれば、溶かし込む種結晶長さが種結晶径以上であるため、熱ショックにより転位が導入された転位部分(転位が存在する部分)をほとんど溶かし込むことができ、残りを無転位部分のみからなる種結晶とすることができる。よって引き上げた単結晶の歩留まりをより向上させることができる。

【0022】一方、溶かし込む種結晶長さが種結晶径よりも短い場合は、前記転位が残存することになり、後の単結晶化の妨げとなる。

【0023】

【発明の実施の形態】以下、本発明に係る単結晶引き上げ用種結晶、及び該種結晶を用いた単結晶引き上げ方法の実施の形態を、図面に基づいて説明する。なお、従来と同一の機能を有する構成部品には、同一の符号を付してある。

【0024】図1(a)～(d)は、本発明の実施の形態に係る単結晶引き上げ用種結晶及び該種結晶を用いた単結晶引き上げ方法を、工程順に示した模式的部分側面図であり、図2は、実施の形態に係る単結晶引き上げ方法により、単結晶を引き上げている状態を示した模式的断面図である。

【0025】まず、6mm以上の直径(1)を有する種結晶15を、熔融液33直上まで降下させて種結晶15の予熱を行う(図1(a))。種結晶15には、ドーパントとして例えばリン(P)が用いられ、種結晶15のドーパント濃度は、 $1 \times 10^{19} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ の範囲に設定されている。その後、種結晶15を熔融液33の表面に着液させる(図1(b))。この時、種結晶15の先端部15aから種結晶15上部方向に向かって、前記着液時に作用する熱応力により、転位(図示せず)が導入される。この後、所定の速度で種結晶15を降下させ、種結晶15の先端部15a(転位が導入された部分)を熔融液33に浸漬して溶かし込む。該溶かし込む長さ(L)は、6mm以上とする(図1(c))。このように、種結晶15の先端部15aを溶かし込むことにより、種結晶15の残った部分を無転位部分のみに行うことができる。この後、従来行っていたネッキング工程を省略してショルダー形成工程に移り、所定の引き上げ速度で引き上げることににより単結晶16を所定の径まで成長させ、ショルダー16bを形成する(図1(d))。この後ボディ形成工程に移り、メインボディ16c(図2)を形成する。

【0026】一般に、種結晶15に作用する応力と、種結晶15に導入された転位が前記応力によって伝播する速度との間には、図3に示すような関係が成立する。

【0027】図3において縦軸は転位の伝播速度(v)を、横軸は種結晶に作用する応力(σ)を示している。

【0028】種結晶が一般的なドーパント濃度($1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$)を有している場合をグラフAとすると、種結晶15において、ドーパントとして例えばリン(P)が用いられ、ドーパント濃度が 1×10^{19} である場合はグラフB、ドーパント濃度が $1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ である場合はグラフCとなる。

【0029】すなわち、種結晶が一般的なドーパント濃度を有している場合(グラフA)は、 σ_1 以上の応力が作用すると転位が伝播してゆく(転位の伝播速度が0以上となる)のに対し、 $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ のドーパント濃度を有している場合(グラフB)は、 σ_2 の応力が作用しない限り前記転位が伝播してゆかず、 $1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ のドーパント濃度を有している場合(グラフC)に至っては、 σ_3 の応力が働かない限り前記転位が伝播してゆかない。ここで応力の大きさは、 $\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$ である。このように、ドーパント濃度が高いほど、前記転位の伝播を抑制することができる。

【0030】上記した単結晶引き上げ用種結晶15によ

れば、Pのドーパント濃度が $1 \times 10^{19} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ の範囲にあり、一般的なPドーパント濃度($1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$)よりも高いため、前記着液時に導入された転位が種結晶15の上部方向に伝播するのに要する応力レベルを、通常のものよりも高めることができる。すなわち、種結晶15に通常よりもかなり高いレベルの応力が作用しない限り、前記転位は伝播しないこととなる。よって、着液時に転位が導入された部分(先端部15a)を所定速度で熔融液に溶かし込むことにより、転位を伝播させることなく、転位が導入された部分(先端部15a)を除去することができ、転位のない種結晶を基にした単結晶の引き上げを可能とすることができる。このため、引き上げた単結晶の無転位化率を高めることができる。

【0031】また、種結晶径(1)が6mm以上あるため、例えば300kg程度の大重量の単結晶16を引き上げる場合であっても、種結晶15がシリコン強度(約 $16 \text{ kgf} / \text{mm}^2$)から算出して十分な強度を有するため、種結晶15の破損による単結晶16の落下等の事故の心配がなく、安全に単結晶16を引き上げることができる。

【0032】また、上記した種結晶15を用いた単結晶引き上げ方法によれば、着液時に生じた転位を有する種結晶15の先端部15aを一旦熔融させるため、無転位部分のみからなる種結晶15を基に単結晶16の引き上げを行うことができる。このため引き上げられる単結晶16に転位が導入されることがなく、ネッキング工程を省略することができる。また、前記ネッキング工程が不要となることにより、細いネック36a(図4)によって単結晶16を支持する必要性がなくなり、種結晶径(1)が、すなわち単結晶16を支持するにあたっての最細部径となり、大重量の単結晶16であっても、落下等の事故発生 の心配もなく安全に引き上げることができる。さらに、ネック36aを形成する必要がないため、種結晶15は従来12mm程度であったものを6mm程度まで細くでき、種結晶に要する原料コストを削減することができる。

【0033】さらに、溶かし込む種結晶15の長さ(L)を種結晶径以上とすることにより、転位が導入された部分をほとんど溶かし込むことができ、残りを無転位部分のみからなる種結晶15とすることができる。該無転位部分のみからなる種結晶15を用いて単結晶16を引き上げることににより、単結晶16の歩留まりを向上させることができる。

【0034】本実施の形態においては、ドーパントとして例えばリン(P)を用い、種結晶15のドーパント濃度を $1 \times 10^{19} \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ の範囲としたが、何らこれに限定されるものでなく、別の実施の形態ではドーパントとして例えばホウ素(B)を用い、ドーパント濃度を $5 \times 10^{19} \sim 6 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ の範囲として

もよい。

【0035】

【実施例及び比較例】以下、実施例及び比較例に係る単結晶引き上げ用種結晶及び該種結晶を用いた単結晶引き上げ方法により単結晶の引き上げを行い、DF (Dislocation Free)率を調べた結果について説明する。実施例、比較例のいずれにおいても、直径約12インチで長さ約1000mm、総重量300kg程度の単結晶を10回引き上げた。前記DF率は、同じ条件で引き上げた単結晶それぞれ10本のうち、全く転位が発生していな

*い単結晶の本数の割合で示した。前記転位発生の有無は、外部観察によっても判断可能であるが、今回は、スライスした単結晶をX線トポグラフで観察することにより判断した。

【0036】図4(a)、(b)は、実施例、比較例1及び比較例2に係る単結晶引き上げ方法を説明するために示した、模式的部分拡大側面図である。各々の単結晶の引き上げに共通する成長条件を、下記の表1に示す。

【0037】

【表1】

単結晶サイズ	径12インチ×1000mm、300kg
単結晶用原料	高純度多結晶Si
加熱方法	直流抵抗加熱
雰囲気	1333.2Pa、Ar(80ℓ/min)
単結晶の回転速度	20rpm(坩堝と逆)
坩堝の回転速度	5rpm(単結晶と逆)

【0038】<実施例1>実施例1では、図1、図2及び図4(a)に示した方法及び表1に示した条件によって、以下のようにして単結晶16を引き上げた。種結晶15は、ドーパントとしてリン(P)が用いられており、ドーパント濃度は、 $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ である。

【0039】まず、直径約10mmの種結晶15を熔融液33直上まで降下させて種結晶15の予熱を行い、その後、種結晶15を熔融液33の表面に着液させて、種結晶15を熔融液33に馴染ませる。この後、0.2mm/minの速度で種結晶15を降下させ、種結晶15の先端部15aを熔融液33に浸漬して種結晶15の先端部15aから約20mmの範囲を溶かし込む。この後約0.3mm/minの引き上げ速度で種結晶15を引き上げ、ヒータ32の温度を調節することにより、種結晶底面15aから下方100mmの範囲に単結晶16のショルダー16bを形成し、直径が12インチとなるまで成長させた。その後約0.5mm/minの引き上げ速度で直径12インチのメインボディ16cを、長さ約1000mmとなるまで成長させた。

【0040】上記実施例1に係る方法により、製造された単結晶16のDF率は9/10であった。すなわち、10本引き上げた内の9本には全く転位の発生が確認されなかった。また、単結晶16の落下数は0/10であり、単結晶16の落下は発生しなかった。

【0041】<実施例2>実施例2では、直径6mmの種結晶15を用い、その他の条件及び方法は実施例1の場合と同様に行った。

【0042】上記実施例2に係る方法により製造された単結晶16のDF率は、9/10であった。すなわち、10本引き上げた内の9本には全く転位の発生が確認さ

れなかった。また、単結晶16の落下数は0/10であり、単結晶16の落下は発生しなかった。

【0043】<比較例1>比較例1では、図1、図2及び図4(a)に示した方法及び表1に示した条件によって単結晶26を引き上げた。単結晶26の引き上げ方法に関しては、種結晶25のドーパント濃度を除いては実施例の場合と同様であり、ここではその説明を省略する。また、種結晶25にはドーパントとしてリン(P)が用いられており、ドーパント濃度は $1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ とした。

【0044】上記比較例1に係る方法により製造された単結晶26のDF率は、6/10であった。すなわち、10本引き上げた内の6本には、全く転位の発生が確認されなかった。また、単結晶26の落下数は、0/10であり、単結晶26の落下は発生しなかった。

【0045】<比較例2>比較例2では、図4(b)及び図5に示した方法及び表1に示した条件によって単結晶46を引き上げた。種結晶45には、ドーパントとしてリン(P)が用いられており、ドーパント濃度は実施例の場合と同様に $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ とした。

【0046】まず、直径18mmの種結晶45を熔融液33直上まで降下させて種結晶45の予熱を行い、その後種結晶45を熔融液33の表面に着液させ種結晶45を熔融液33に馴染ませる。この後約3mm/分の速さでヒータ32の温度を調節しながら種結晶45を引き上げて、直径約10mm、長さ約100mmのネック46aを形成する。次に0.3mm/minの引き上げ速度で種結晶45を引き上げ、ヒータ32の温度を調節することにより、ネック46aの下端から下方100mmの範囲に単結晶46のショルダー46bを形成して、直径

30

40

50

が12インチとなるまで成長させた。その後0.5mm/minの引き上げ速度で直径12インチのメインボディ46cを、長さ1000mmとなるまで成長させた。

【0047】上記比較例2に係る方法により製造された単結晶46のDF率は0/10であった。すなわち、引き上げた単結晶46全てに対して、転位の発生が確認された。一方、単結晶46の落下数は0/10となり、単結晶46の落下は発生しなかった。

【0048】以上の結果から明かなように、実施例1に係る種結晶15によれば、Pのドーパント濃度が $2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ にあり、一般的なPドーパント濃度($1 \times 10^{15}/\text{cm}^3$)よりも高く、前記着液時に導入された転位が種結晶15の上部方向に伝播するのに要する応力レベルを、通常よりも高くすることができた。すなわち、通常よりも高い応力が働かない限り前記転位は伝播しないため、前記着液時に転位が導入された部分(先端部15a)を適度な速度で熔融液に溶かし込むことにより、転位を伝播させることなく転位が導入された部分(先端部15a)を除去することができ、転位の無い種結晶を基にした単結晶の引き上げを可能とすることができた。このため引き上げた単結晶の無転位化率を高めることができた。

【0049】また、実施例1に係る単結晶16の引き上げ方法によれば、前記ネックング工程が不要となることにより、細いネック36a(図4)によって単結晶16を支持する必要性がなくなり、種結晶径(10mm)がすなわち単結晶16を支持するにあたっての最細部径となり、大重量の単結晶16(300kg)であっても落下等の事故発生の心配もなく安全に引き上げることができた。

【0050】さらに、溶かし込む種結晶15の長さ(L)が種結晶径以上の20mmであるため、転位が導入された部分をほとんど溶かし込むことができ、残りを無転位部分のみからなる種結晶15とすることができ、該無転位部分のみからなる種結晶15を用いて単結晶16を引き上げることにより、単結晶16の歩留まりを向上させることができた。

【0051】また、実施例2に係る種結晶15によれば、種結晶径(1)が6mmあるため、300kg程度の大重量の単結晶16を引き上げた場合であっても、種

結晶15がシリコン強度(約16kgf/mm²)から算出して十分な強度を有するため、種結晶15の破損による単結晶16の落下等の事故の心配が少なく、安全に単結晶16を引き上げることができた。また種結晶15は従来12mm程度であったものを6mm程度まで細くしたため体積にして1/4となり、種結晶15に要する原料コストを削減することができた。

【0052】一方、比較例1に係る種結晶25によれば、実施例の場合と略同様の効果が得られたが、ドーパント濃度が $1 \times 10^{15}/\text{cm}^3$ と従来程度であるため、製品歩留まりにおいて実施例には及ばなかった。

【0053】他方、比較例2に係る種結晶45によれば、実施例と同様のドーパント濃度($2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$)としたにもかかわらず、引き上げられた単結晶46全てにおいて転位が発生した。これは、図1に示す溶かし込みの工程を行っていないためにシードに転位が存在し、ネック46aの直径が10mmと大きく、種結晶45に存在する転位が抜け切れなかったためであると考えられる。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a)～(d)は、本発明の実施の形態に係る単結晶引き上げ方法を、工程順に示した模式的部分側面図である。

【図2】実施の形態に係る単結晶引き上げ方法により、単結晶を引き上げている状態を示した模式的断面図である。

【図3】種結晶に作用する応力と、前記種結晶に存在する転位が、応力によって伝播する速度との関係を示したグラフである。

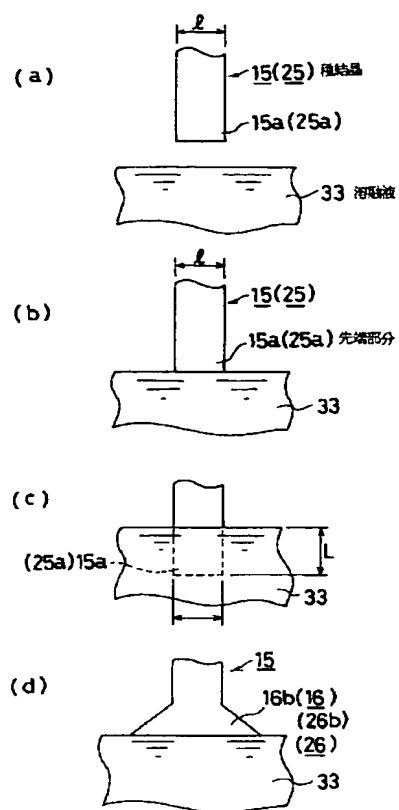
【図4】(a)、(b)は、実施例、比較例1及び比較例2に係る種結晶及び該種結晶を用いた単結晶引き上げ方法を説明するために示した、模式的部分拡大側面図である。

【図5】CZ法で使用される単結晶引き上げ装置の要部を示した、模式的断面図である。

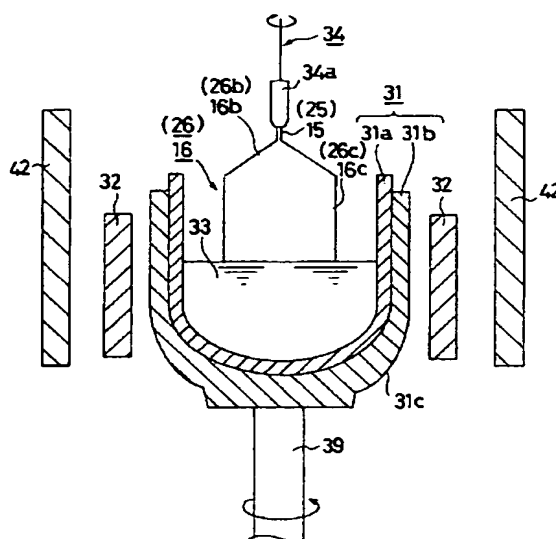
【符号の説明】

15、25、35、45 (単結晶引き上げ用) 種結晶
15a、25a、35a、45a (種結晶の) 先端部
16、26、36、46 単結晶

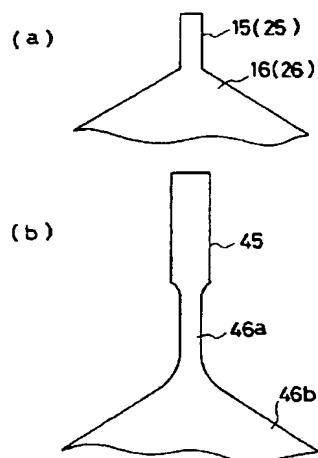
【図1】



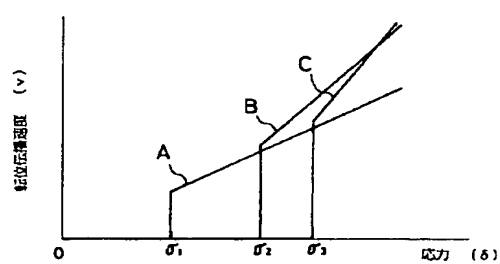
【図2】



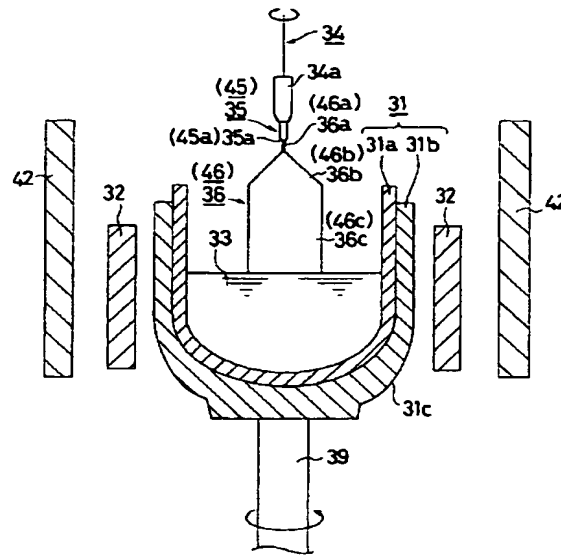
【図4】



【図3】



【図5】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.